



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS APLICADAS E EDUCAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE
CURSO DE BACHARELADO EM ECOLOGIA
LABORATÓRIO DE CARTOGRAFIA E GEOPROCESSAMENTO



Angélica Fernandes Pessoa

**DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL NA APA DA
BARRA DO RIO MAMANGUAPE - PB**



Rio Tinto
2016

ANGÉLICA FERNANDES PESSOA

**DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL NA APA DA BARRA DO
RIO MAMANGUAPE - PB**

**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal da Paraíba como parte do requisito
para a obtenção do título de Bacharel em Ecologia**

Orientadora: Dr^a. Nadjacleia Vilar Almeida

**Rio Tinto
2016**

P475d Pessoa, Angélica Fernandes.

Dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal na APA da Barra do Rio Mamanguape - PB. / Angélica Fernandes Pessoa. – Rio Tinto: [s.n.], 2016.

51 f. : il.-

Orientador (a): Prof. Dra. Nadjacleia Vilar Almeida.

Monografia (Graduação) – UFPB/CCAEE.

1. Sensoriamento remoto. 2. Vegetação. 3. Área de Proteção Ambiental.

UFPB/BS-CCAEE

CDU: 528.77(043.2)

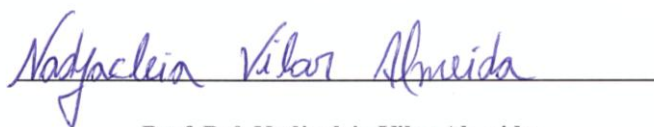
ANGÉLICA FERNANDES PESSOA

**DINÂMICA ESPAÇO-TEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL NA APA DA BARRA DO
RIO MAMANGUAPE - PB**

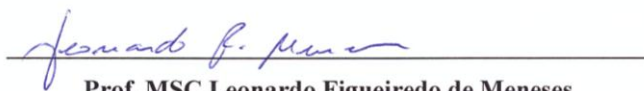
**Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Federal da Paraíba como parte do requisito
para a obtenção do título de Bacharel em Ecologia**

Aprovado em 23 de Maio de 2016

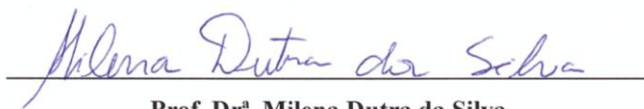
BANCA EXAMINADORA



Prof. Drª. Nadjacleia Vilar Almeida
Orientadora – DEMA/UEPB



Prof. MSC Leonardo Figueiredo de Meneses
Examinador – DEMA/UEPB



Prof. Drª. Milena Dutra da Silva
Examinadora Externa

Curso de Ciências Biológicas/UFAL – Campus Arapiraca/UE Penedo

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus pelo privilégio da vida e por ter me dado forças para chegar até aqui.

À minha família, pelo apoio e incentivo, em especial meus pais Severino e Lindalva, que sempre buscaram o melhor para mim. A meus irmãos, Gérison, Givanildo e Girlene que mesmo distantes sempre me incentivaram. A meu tio Florêncio e sua esposa Tânia, por ter me acolhido em sua casa e por todo incentivo dado para alcançar meus ideais.

Ao meu amigo Alin, que sempre me incentivou em minha vida acadêmica. Desde o vestibular, quando estudava comigo. Sempre acreditou em mim.

À professora Dra Nadjacleia Vilar Almeida, pela orientação e pela paciência. Pela oportunidade e confiança para desenvolver esta pesquisa.

À família LCG que me acolheu e me ajudou.

À Jonas Fernandes pela paciência e por sempre me ajudar quando precisei.

À Hugo Yuri, pelo compartilhamento de informações, ao qual foi de fundamental importância para o desenvolvimento desta pesquisa.

À minha querida turma 2011.1.

A todo corpo docente da UFPB, pelo conhecimento transmitido.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa Científica e Tecnológica – (CNPq), por incentivar a realização da pesquisa através da concessão da bolsa durante o período de 2014-2015.

A todos que contribuíram direta e indiretamente para que esse sonho se tornasse possível. A minha eterna gratidão!

“Não é o mais forte que sobrevive, nem o mais inteligente, mas
o que melhor se adapta as mudanças”.

Charles Darwin

LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Espectro Eletromagnético.....	17
Figura 02. Curva espectral da vegetação, da água e do solo	17
Figura 03. Curva espectral de uma vegetação fotossinteticamente ativa.....	19
Figura 04. Localização da APA da Barra do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil.....	23
Figura 05. Mapa geomorfológico da APA da Barra do Rio Mamanguape e entorno, Paraíba, Brasil	24
Figura 06. Mapa de Hidrografia da APA da Barra do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil.....	25
Figura 07. Áreas de Manguezal da APA da Barra do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil.....	31
Figura 08. Uso e Cobertura da terra no ano de 1974, na APA da Barra do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil	32
Figura 09. Cobertura da terra no ano de 1985, na APA da Barra do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil	33
Figura 10. Cobertura da Terra no ano de 2001, na APA da Barra do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil	35
Figura 11. Chuvas acumuladas nos municípios que compõem a APA da Barra do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil, no ano de 2001.....	36
Figura 12. Cobertura da terra no ano de 2012/2013 na APA da Barra do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil	37
Figura 13. Chuvas acumuladas nos municípios que compõem a APA da Barra do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil, no ano de 2012	38
Figura 14. Dinâmica da Cobertura Vegetal para o ano de 2001, na APA da Barra do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil	39
Figura 15. Dinâmica da Cobertura Vegetal para o ano de 2012/2013, APA da Barra do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil	41
Figura 16. A) Canavial na APA, (B) Canavial no entorno da APA, (C) Plantação de Bananas na APA, (D) Plantação de Macaxeira na APA da Barra Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil	42
Figura 17. Desmatamento para cultivo na APA da Barra do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil.....	42
Figura 18. (A) Área de Manguezal com fortes indícios de degradação, (B) Rio sem mata ciliar e área de policultura na APA e no seu entorno	43
Figura 19. (A) <i>Laguncularia racemosa</i> , (B) <i>Rhizophora Mangle</i> , (C) Vegetação de Restinga, (D) Vegetação herbáceo arbustiva na Área de Proteção Ambiental da Barra Rio	

Mamanguape, Paraíba, Brasil	44
-----------------------------------	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 01. Intervalos das classes utilizadas para a geração dos mapas de cobertura da terra em imagens Landsat	30
Tabela 02. Intervalos das classes utilizadas para a geração dos mapas de cobertura da terra em imagens RapidEye	31
Tabela 03. Quantificação das classes da cobertura da terra na APA da Barra do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil	34
Tabela 04. Quantificação das classes da cobertura da terra no entorno da APA da Barra do Rio Mamanguape.....	34
Tabela 05. Quantificação das áreas em Km ² e em porcentagem da dinâmica da cobertura vegetal na Área de Proteção Ambiental da Barra do Rio Mamanguape e na Área de Influência	40

LISTA DE QUADRO

Quadro 01. Características das imagens utilizadas	27
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba.

APA – Área de Proteção Ambiental.

ENVI – *Enhanced Vegetation Index*.

ETM – *Enhanced Thematic Mapper*.

IAF – Índice de Área Foliar.

ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

IVP – Infravermelho Próximo.

MMA – Ministério do Meio Ambiente.

MSS – *Multispectral Scanner Subsystem*.

ND – Número Digital.

NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*.

PVI – *Perpendicular Vegetation Index*.

REM – Radiação Eletromagnética.

SAVI – *Soil Adjusted Vegetation Index*.

SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste.

SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza.

SR – Simple Ratio.

TM – *Thematic Mapper*.

UC – Unidade de Conservação.

WWF – *World Wildlife Fund*.

RESUMO

A presente pesquisa objetivou analisar a distribuição espaço-temporal da cobertura vegetal no entorno e no interior da Área de Proteção Ambiental-APA da Barra do Rio Mamanguape/PB, a partir do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada-NDVI. Utilizou-se cartas topográficas do ano de 1974, elaboradas pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste-SUDENE e imagens dos sensores TM e ETM a bordo dos Satélites Landsat 5 e 7 datadas do dia 05/02/1985 e 04/08/2001 respectivamente e do sensor Multiespectral (*pushbroom imager*) a bordo do satélite RapidEye datadas do dia 25/10/2012, 31/12/2012 e 20/10/2013. Foi realizado o pré-processamento das imagens, em seguida foram realizados os cálculos da radiância espectral, da reflectância aparente e do NDVI. Como resultado da análise espaço-temporal observou-se uma maior representatividade da cobertura vegetal em 1974, composta por vegetação de mangue no interior da APA e por fragmentos de Mata Atlântica e cerrado (restinga) na Área de Influência Direta. Em 1985 a classe com cobertura vegetal densa foi predominante apresentando uma área de 53,26km² na APA. Em 2001 observou-se uma redução da classe de vegetação rala na APA e consequente aumento da vegetação de transição. Em 2012 houve redução da vegetação densa e um aumento nas áreas de solo exposto e vegetação rala tanto na APA como na Área de Influência Direta. Concluiu-se que mesmo com a criação da UC, em algumas áreas não houve a preservação dos remanescentes florestais, pois áreas que eram caracterizados com vegetação nativa foram substituídas pelo cultivo, ocasionando assim impactos negativos.

Palavras-chave: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, Sensoriamento Remoto, Unidade de Conservação.

SPATIAL AND TEMPORAL DYNAMIC OF THE VEGETATION IN THE E.P.A. OF BARRA DO RIO MAMANGUAPE -PB

ABSTRACT

This study aimed to analyze the spatial and temporal distribution of vegetation surrounding and inside the Environmental Protection Area – E.P.A. of Barra do Rio Mamanguape-PB, from the Normalized Difference vegetation Index. Was used topographic maps of 1974, prepared by the Superintendence of Development of the Northeast-SUDENE, plus TM and ETM image sensors on board of the Landsat Satellites 5 and 7, dating from the days February 5th, 1985 and August 4th, 2001 respectively; and used the Multispectral sensor (pushbroom imager) on board of the RapidEye satellite dating from the days October 25th, 2012, December 31st, 2012 and October 20th, 2013. Was realized preprocessing of the images; then, was performed the calculations of the spectral radiance, the apparent reflectance and NDVI. As a result of the spatial and temporal analysis was observed a greater representation of the vegetation in 1974 – which consisted of mangrove vegetation within the E.P.A. and of fragments of Atlantic Forest and Cerrado (sand bank) in the Direct Influence Area. In 1985 the class with dense vegetation was prevalent, and had an area of 53.26 km² in the E.P.A.; in 2001, was observed a reduction of the low vegetation in E.P.A. and a consequent increase in transitional vegetation. In 2012, there was a reduction of the dense vegetation and an increase in the areas of exposed soil and sparse vegetation in both the E.P.A. and in the Direct Influence Area. If concluded that even creating the Conservation Unit, in some areas the forest remnants were not preserved, since those areas – which were characterized for having native vegetation – were replaced by cultivation, thus causing negative impacts.

Keywords: Normalized Difference Vegetation Index, Remote Sensing, Conservation Unit.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	v
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE QUADRO	x
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	xi
RESUMO	xii
ABSTRACT	xiii
1. INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS	15
2.1 Obetivo geral	15
2.2 Objetivos específicos	15
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1 Unidades de Conservação	16
3.2 Sensoriamento Remoto	17
3.3 Comportamento espectral da vegetação	19
3.4 Índices de Vegetação	21
3.5 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)	22
4. MATERIAL E MÉTODOS	24
4.1 Caracterização da Área de Estudo	24
4.2 Procedimentos técnicos	25
4.3 Pré-processamento, processamento e pós-processamento das imagens	26
4.4 Calibração Radiométrica em Imagens Landsat	26
4.5 Calibração Radiométrica em Imagens RapidEye	27
4.6 Cálculo do NDVI	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
5.1 Mapeamento de 1974, 2001 e 2012/2013	32
5.2 Dinâmica da Cobertura Vegetal em 2001 e 2012/2013	40
6. CONCLUSÃO	46
REFERÊNCIAS	47

1. INTRODUÇÃO

Em estudos de caráter ambiental, a dinâmica das comunidades vegetais é um tema bastante explorado. Isto porque a cobertura vegetal se caracteriza por ser um elemento de extrema importância, pois, além de atuar na manutenção dos recursos naturais, exerce um papel determinante na manutenção dos ecossistemas garantindo, assim, o seu funcionamento.

De acordo com Oliveira (2013, p.13) são inúmeros os processos ambientais que envolvem dinâmicas das comunidades vegetais, por isso, torna-se necessário a utilização de métodos capazes de produzir diagnósticos a respeito dos recursos vegetais para, assim, subsidiar planos de conservação.

Nesse contexto, se inserem as técnicas de sensoriamento remoto, que por sua vez, vem se tornando cada vez mais frequente, devido à viabilidade e a agilidade dos dados adquiridos pelas imagens orbitais (GOMES & MALDONADO, 1998).

Os dados obtidos por sensoriamento remoto podem ser fundamentais no estudo de diversas variáveis ambientais, incluindo o estudo da dinâmica (redução e aumento) das manchas de vegetação, representando análises propulsoras no processo de planejamento e gestão ambiental (Rosembach *et al.*, 2005).

Com o objetivo de auxiliar o estudo e o monitoramento da vegetação, foram criados os índices de vegetação. São diversos os índices de vegetação existentes, dentre eles se destaca o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Este índice por sua vez, permite identificar a presença de vegetação verde e caracterizar sua distribuição espacial, como também a evolução no decorrer do tempo (LOBATO *et al.*, 2010).

A APA da Barra do Rio Mamanguape apresenta áreas representativas do ecossistema manguezal, que por sua vez se constitui em um ecossistema de elevada diversidade biológica, além dos fragmentos de Mata Atlântica. A preservação desses ecossistemas é de fundamental importância para assegurar a fauna e flora ali existentes, como também assegurar a proteção dos estuários e dos rios a fim de garantir a sustentabilidade ambiental da região.

Espera-se que a pesquisa contribua para gestão e planejamento da APA da Barra do Rio Mamanguape, tendo como principal resultado a caracterização da dinâmica da cobertura vegetal no interior e na Área de Entorno da APA

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Analisar a dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal no entorno e no interior da APA da Barra do Rio Mamanguape.

2.2 Objetivos específicos

- Identificar temporalmente a extensão da cobertura vegetal presente na APA;
- Quantificar as classes de vegetação identificadas nas décadas analisadas;
- Demonstrar como as mudanças na cobertura vegetal no entorno da APA interferem nas condições ambientais dos ecossistemas do interior da APA.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Unidades de Conservação

A natureza é composta por vários elementos, tanto abiótico (água, minerais no solo) como biótico (fauna e flora). E para que cada um desses elementos possa desempenhar sua função no ecossistema é necessário que haja um equilíbrio entre os mesmos.

Desde o início da civilização, percebeu-se a necessidade de preservar áreas naturais com características relevantes, por diversos motivos, entre eles, para a proteção de fontes de água, proteção de animais contra a caça e por abrigar uma grande variedade de recursos naturais (MMA, 2007).

Entretanto, com o crescente aumento populacional, as áreas naturais foram destruídas, dando lugar à urbanização, ocasionando assim, a diminuição da fauna e da flora, levando ao risco de extinção. Dessa forma, visando à proteção dessas áreas naturais foi instituído pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC, critérios e normas para a criação, implantação e gestão das Unidades de Conservação.

As Unidades de Conservação são definidas pela Lei nº 9.985 de 18 de Julho de 2000, Artigo 2º, como:

“espaços territoriais e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituídas pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção (BRASIL, 2000, p. 7).”

As Unidades de Conservação, por sua vez, dividem-se em dois grupos, ambos com características distintas: Unidades de Proteção Integral e Unidades de Uso Sustentável.

As Unidades de Proteção Integral tem como objetivo preservar a natureza, sendo admitido apenas o uso indireto dos seus recursos naturais. No entanto, neste tipo de Unidade é proibida a coleta e destruição do patrimônio natural, com exceção dos casos previstos na Lei do SNUC. Já as Unidades de Uso Sustentável, tem como objetivo compatibilizar a conservação da natureza com o uso sustentável de parcela dos seus recursos naturais, visando também à qualidade de vida dos habitantes que residem na área (SNUC, 2000).

As Unidades de Conservação são de grande relevância, pois protegem a diversidade biológica e os recursos genéticos a ele associados, protegem os elementos do meio físico, além dos vários benefícios que proporcionam para os seres humanos, tais como: equilíbrio climático e manutenção da qualidade do ar, base para produção de medicamentos para

doenças atuais e futuras, áreas verdes para lazer, educação, cultura e religião, entre outros benefícios (WWF, 2008).

De acordo com o ICMBio, 2014, p. 15, o Macrozoneamento do Litoral da Paraíba afirma que é no Litoral Norte do Estado onde está localizado o maior número de áreas protegidas já institucionalizadas, tais como: a Reserva Ecológica Mata do Rio Vermelho, a Reserva Biológica de Guaribas, a Terra Indígena Jacaré de São Domingos, a Terra Indígena Potiguaras, a Estação Ecológica do Pau-brasil, a Área de Relevante Interesse Ecológico de Manguezais da Foz do Rio Mamanguape, e a Unidade de Conservação objeto de estudo dessa pesquisa, a Área de Proteção Ambiental da Barra do Rio Mamanguape [...].

Diante o exposto, é notória a importância da conservação da biodiversidade *in situ* por meio das Unidades de Conservação, pois além de conservar os bens naturais, proporcionam uma melhor qualidade de vida para a sociedade.

3.2 Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto pode ser definido como:

“a utilização conjunta de sensores, equipamentos para processamento de dados colocados a bordo de aeronaves, ou outras plataformas, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética – REM e as substâncias que o compõem em suas mais diversas manifestações” (NOVO, 2010, p. 28).

Para a obtenção de dados por sensoriamento remoto é necessário o uso de energia. Dessa forma, a energia utilizada nesse processo é a radiação eletromagnética.

Segundo Florenzano (2011) a radiação eletromagnética se propaga em forma de ondas com a velocidade da luz e é medida em frequência e comprimento de onda. O espectro eletromagnético representa a distribuição da radiação eletromagnética por regiões, segundo o comprimento de onda e a frequência (Figura 01).

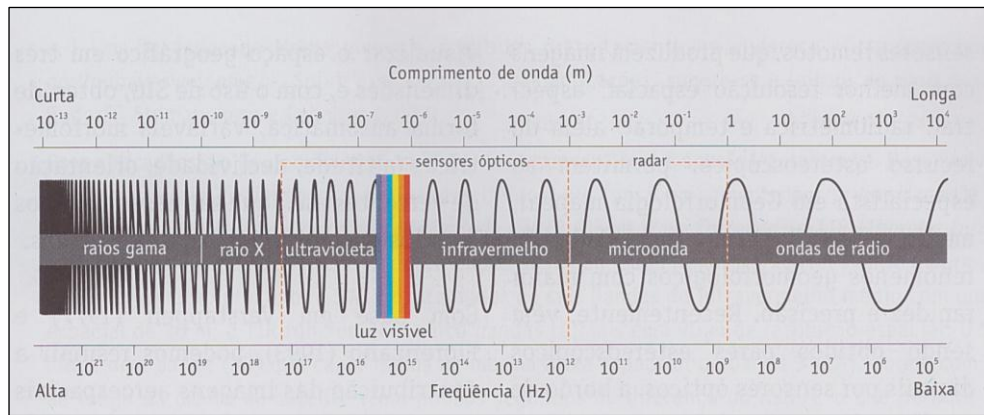


Figura 01. O Espectro Eletromagnético.
Fonte: Florenzano 2007 apud Florenzano (2008, p. 33)

Com relação à interação da energia com os objetos da superfície terrestre, cada tipo de elemento componente da paisagem reage de uma forma diferente. Esta interação varia de acordo com o comprimento de onda e com as características biofísicas e químicas dos objetos (vegetação, água e solo) (FLORENZANO, 2011).

As variações da energia refletida pelos objetos podem ser representadas através da curva espectral (Figura 02), que por sua vez, irá expressar o comportamento espectral de cada alvo.

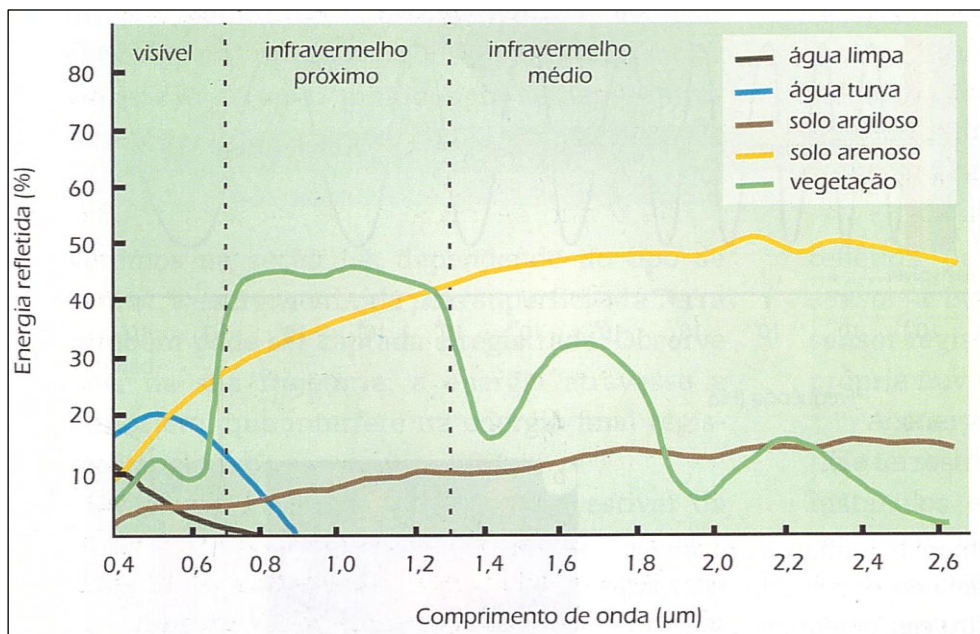


Figura 02. Curva espectral da vegetação, da água e do solo.
Fonte: Florenzano (2011, p.12)

É por meio dessas variações, que é possível distinguir e diferenciar os objetos da superfície terrestre nas imagens de sensores. Dessa forma, é fundamental o conhecimento do comportamento espectral dos objetos da superfície terrestre e dos fatores que interferem neste

comportamento, para que possamos extrair informações a partir de dados de sensoriamento remoto (NOVO, 2010, p. 241).

3.3 Comportamento espectral da vegetação

Segundo Oliveira (2013, p. 28), o termo comportamento espectral da vegetação é frequentemente utilizado para representar as características de reflectância da REM pelas folhas, plantas individuais e conjuntos de plantas.

Quando se trata de estudos em vegetação com aplicações de técnicas de sensoriamento remoto, fundamenta-se na compreensão da aparência que uma dada cobertura vegetal assume, sendo fruto de um processo complexo que envolve muitos parâmetros e fatores ambientais (PONZONI, 2002, p. 8).

Dessa forma, um dossel vegetal é constituído por muitos elementos da própria vegetação, como folhas, galhos, frutos, flores, etc. No entanto, quando um fluxo de radiação incide sobre os dosséis vegetais o mesmo estará sujeito aos processos de espalhamento e absorção.

O processo de espalhamento, por sua vez, se divide em dois sub-processos: reflexão e transmissão. Dessa forma, o destino do fluxo radiante que incide sobre os elementos da vegetação é dependente das características do fluxo (comprimentos de onda, ângulo de incidência e polarização) e das características físico-químicas dos elementos (PONZONI, 2002).

De todos os elementos constituintes da vegetação, a folha constitui o elemento principal quando se estuda o processo de interação da REM. Dessa forma, o comportamento espectral de uma folha é função de sua composição, morfologia e estrutura interna (PONZONI, 2001 *apud* OLIVEIRA, 2013, p. 28).

A curva de reflectância espectral característica de uma vegetação verde sadia é mostrada na Figura 03.

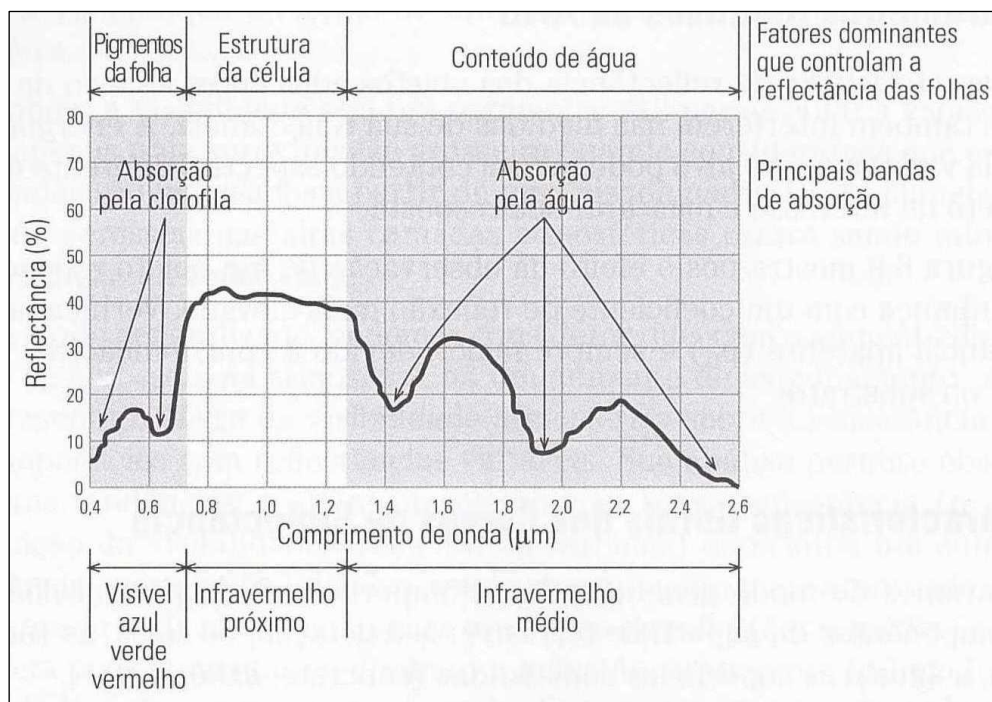


Figura 03. Curva espectral de uma vegetação fotossinteticamente ativa.
Fonte: Novo, 2010

Analizando a Figura 03 é possível decompô-la em três regiões espectrais:

- **região do visível** (0,4 μm – 0,7 μm): Nessa região, a forma da curva é definida pela ação dos pigmentos existentes na folha. A reflectância, por sua vez, é baixa, resultando em uma maior absorção da radiação incidente pelos pigmentos da planta. Esses pigmentos, geralmente encontrados nos cloroplastos são: clorofila (65%), carotenos (6%), e xantofilas (29%). Entretanto, vale ressaltar que os valores percentuais desses pigmentos existentes nas folhas, podem variar de espécie para espécie. Dessa forma, a energia radiante interage com a estrutura foliar por absorção e por espalhamento. A energia é absorvida seletivamente pela clorofila e convertida em calor ou fluorescência, e também convertida fotoquimicamente em energia estocada na forma de componentes orgânicos através da fotossíntese (PONZONI *et al.*, 2012).

- **região do infravermelho próximo** (0,7 μm – 1,1 μm): Nessa região a vegetação verde sadia é caracterizada por uma alta reflectância (de 40 a 60%) (JENSEN, 2009). Ocorrendo uma pequena absorção da radiação com um considerável espalhamento interno na folha e a absorção da água, por sua vez, é geralmente baixa. Gates et al. (1965 *apud* PONZONI *et al.*, 2012, p. 25), concluíram que:

“a reflectância espectral de folhas nessa região do espectro eletromagnético é o resultado da interação da energia incidente com a estrutura do mesófilo. Fatores externos à folha, como disponibilidade de água, por exemplo, podem causar alterações na relação água-ar no mesófilo, e, assim, alterar quantitativamente a reflectância de uma folha nessa região. De maneira geral, quanto mais lacunosa for a estrutura interna

foliar, maior será o espalhamento interno da radiação incidente e, consequentemente, maiores serão também os valores dos fatores de reflectância.”

- **região do infravermelho médio** (1,1 μm – 3,2 μm): Há absorção decorrente da água na região do infravermelho médio, que por sua vez, afeta a reflectância das folhas. Observa-se que há máximos de absorção pela água em 1,1 μm ; 1,45; 1,95 e 2,7 μm (PONZONI *et al.*, 2012).

As discussões apresentadas referiam-se ao estudo das propriedades espectrais de folhas isoladas, porém a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto no estudo da vegetação inclui a necessidade de compreender o processo de interação entre a REM e os diversos tipos fisionômicos de dosséis (florestas, culturas agrícolas, formações de porte herbáceo, etc) (PONZONI *et al.*, 2012, p. 28-29).

Dessa forma, quando se analisa grandes extensões de cobertura vegetal, como, por exemplo, florestas, espera-se que quando comparadas com as curvas de reflectância de apenas uma folha verde sadia, apresentem medições espectrais semelhantes, uma vez que a folha é o principal elemento da vegetação sob o ponto de vista da interação com a REM.

Nesse contexto, o entendimento do comportamento e da variação espectral de uma folha nas diferentes regiões do espectro eletromagnético é de fundamental importância, pois possibilita o monitoramento espaço-temporal de grandes extensões florestais, bem como, a compreensão de mudanças ligadas a fatores externos a planta (umidade, alterações antrópicas, desmatamento, etc.) (OLIVEIRA, 2013, p. 32).

3.4 Índices de Vegetação

Os índices de vegetação são técnicas que auxiliam o estudo e o monitoramento da vegetação por meio do sensoriamento remoto. Esses índices por sua vez, têm como objetivo explorar as propriedades espectrais da vegetação, especialmente nas regiões do visível e do infravermelho próximo (PONZONI & SHIMABUKURO, 2012).

Dessa forma, a fundamentação dos índices de vegetação consiste na reflectância da vegetação entre essas duas regiões espectrais mencionadas (visível e infravermelho próximo). Sendo assim, quanto maior a densidade de cobertura vegetal, menor será a reflectância na região do visível, devido aos pigmentos fotossintetizantes, por outro lado, maior será a reflectância na região do infravermelho próximo (PONZONI *et al.* 2012).

Segundo Moreira (2005), os índices de vegetação foram criados com o intuito de ressaltar o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo, e a outros alvos da

superfície terrestre. Nesse sentido, têm sido muito utilizados no monitoramento de áreas vegetadas, na determinação e estimativa do índice de área foliar, biomassa e da radiação fotossinteticamente ativa (RAMOS et al. 2010).

São diversos os índices de vegetação utilizados e dentre eles serão apresentados os principais disponíveis (PONZONI, *et al.*, 2012; JENSEN, 2009):

- Índice de Vegetação da Razão Simples (Simple Ratio –SR): a razão simples foi o primeiro índice a ser usado, resultando da divisão de valores dos fatores de reflectância bidirecional das bandas do infravermelho próximo e vermelho. O SR fornece valiosas informações sobre a biomassa da vegetação ou sobre o Índice de Área Foliar (IAF). Ele é especialmente sensível a variações em biomassa ou em IAF para vegetação de grande biomassa, tais como florestas (JENSEN, 2009).
- Índice de Vegetação Perpendicular (Perpendicular Vegetation Index – PVI): Este índice é obtido a partir da informação das bandas 5 (vermelho) e 7 (infravermelho próximo) do sensor MSS. Utiliza a distância perpendicular para cada coordenada de pixel para cada linha de solo (MARCUSSE *et al.*, 2010).
- Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (Soil Adjusted Vegetation Index – SAVI): É utilizado para minimizar o efeito do brilho do solo nos casos em que a vegetação é esparsa onde os pixels contêm uma mistura de vegetação verde e solo de fundo (MARCUSSE *et al.*, 2010).
- Índice de Vegetação Melhorado (Enhanced Vegetation Index – EVI): este índice foi desenvolvido para otimizar o sinal da vegetação, melhorando a sensibilidade de sua detecção em regiões com maiores densidades de biomassa, e para reduzir a influência do sinal do solo e da atmosfera sobre a resposta do dossel.

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), traduzido como Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, que será descrito mais detalhadamente a seguir.

3.5 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

Na literatura são encontrados mais de cinquenta índices de vegetação (MOREIRA e SHIMABUKURO, 2004), porém quando se trata de cobertura vegetal, um dos mais utilizados

é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), proposto por Rouse *et al.* (1974) *apud* Jensen, 2009).

O NDVI é obtido através da seguinte fórmula:

$$\text{NDVI} = \text{IVP} + \text{V} / \text{IVP} - \text{V} \quad \text{Fórmula 1}$$

Sendo: IVP – Infravermelho Próximo

V – Vermelho

Segundo Oliveira (2013, p. 34), “Os valores do NDVI variam de -1 a +1, onde normalmente superfícies com alguma vegetação apresentará um valor de NDVI que irá variar de 0 a 1, já para superfícies como água e nuvens o valor geralmente irá ser menor que zero”.

O NDVI é um método de determinação do vigor da vegetação por meio de diferença normalizada entre o pico de reflectância no infravermelho próximo e a feição de absorção na região do vermelho utilizada na fotossíntese (BAPTISTA e MUNHOZ, 2009).

Esse índice por sua vez, possui diversas aplicações, sendo utilizado como ferramenta para o monitoramento da vegetação, para construir perfis sazonais e temporais das atividades da vegetação, permitindo comparações interanuais desses perfis (PONZONI *et al.* 2012, p. 90). Em culturas agrícolas, mapeamento de uso e ocupação do solo, desmatamentos florestais, entre outros (ALBURQUEQUE *et al.*, 2014).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da Área de Estudo

A pesquisa foi realizada na Área de Proteção Ambiental da Barra do Rio Mamanguape, criada pelo Decreto 924 de 10 de Setembro de 1993 com 14.460 ha, situada na mesorregião da Mata Paraibana, entre as coordenadas planas: X1: 269058, Y1: 9238186, X2: 291791, Y2: 9258381, Zona 25 S, abrangendo os municípios de Rio Tinto, Lucena, Marcação e Baía da Traição (Figura 04). Está inserida nas Bacias Hidrográficas dos rios Miriri e Mamanguape.

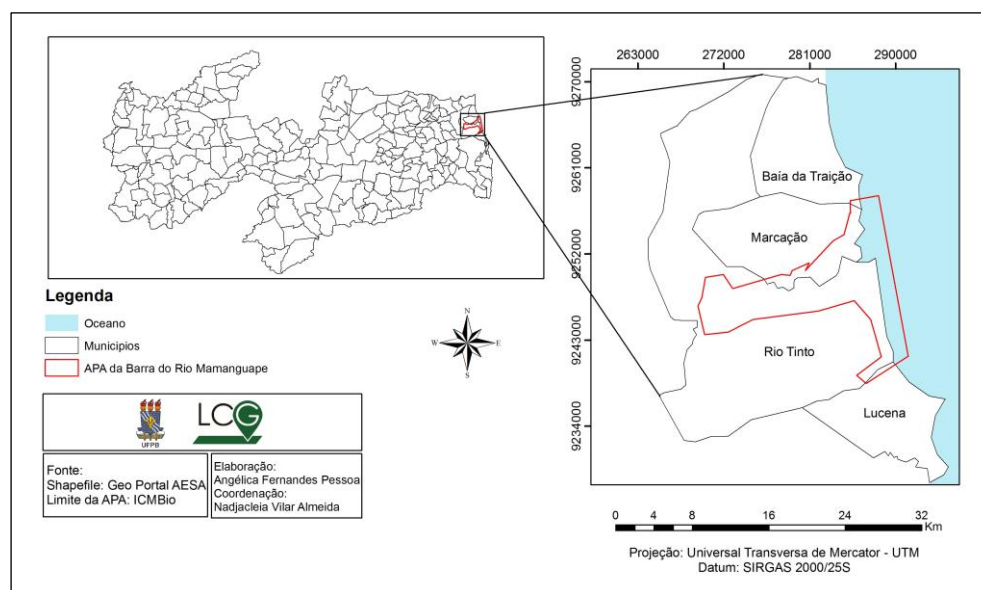


Figura 04. Localização da Área de Proteção Ambiental da Barra do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil.

A Área de Proteção Ambiental da Barra do Rio Mamanguape foi criada com o objetivo de disciplinar o processo de ocupação do território, proteger a diversidade biológica e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais, além dos objetivos específicos:

- I – garantir a conservação do habitat do Peixe-Boi Marinho (*Trichechus manatus*);
- II – garantir a conservação de expressivos remanescentes de manguezal, mata atlântica e dos recursos hídricos ali existentes;
- III – proteger o Peixe-Boi Marinho (*Trichechus manatus*) e outras espécies, ameaçadas de extinção no âmbito regional;
- IV – melhorar a qualidade de vida das populações residentes, mediante orientação e disciplina das atividades econômicas locais,
- V – fomentar o turismo ecológico e a educação ambiental.

Quanto à geomorfologia, segundo Oliveira (2003, p. 50), a APA da Barra do Rio Mamanguape apresenta unidades geomorfológicas: Estuário e Oceano Atlântico, Planícies

Costeiras, Vertentes de Tabuleiro, Planícies Flúvio Marinha e Topos de Tabuleiro (Figura 05).

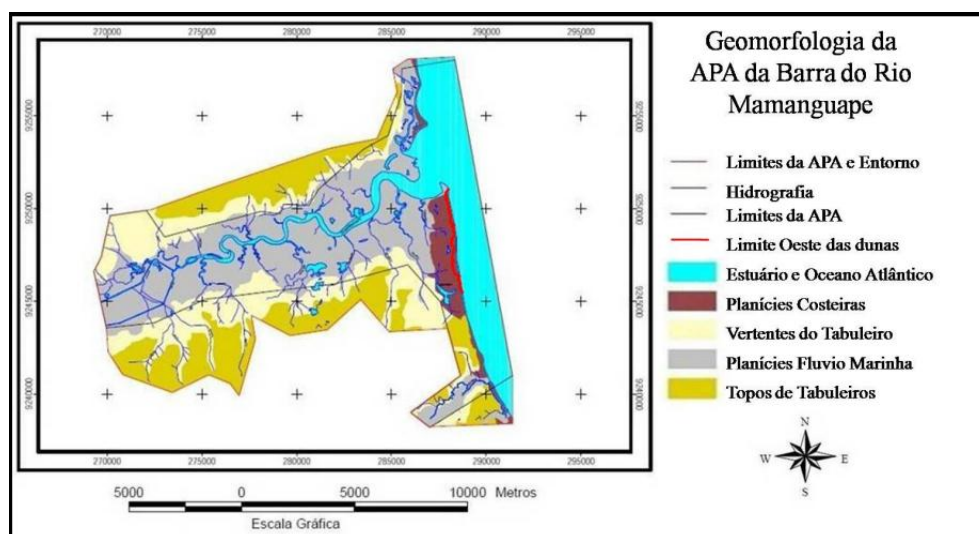


Figura 05. Mapa geomorfológico da Área de Proteção Ambiental da Barra do Rio Mamanguape e entorno, Paraíba, Brasil
Fonte: OLIVEIRA, 2003

O período chuvoso na região ocorre entre os meses de Março e Agosto, sendo o mês de Junho com maior média, cerca de 300 mm. A estação seca concentra-se entre os meses de Setembro e Fevereiro, sendo o mês de Outubro e Novembro com menor taxa de precipitação. A temperatura média fica em torno dos 23°C sendo o mês de Janeiro o que registra maiores temperaturas (SOMAR Meteorologia, 2014).

A principal drenagem está representada pelo Rio Mamanguape, que está situado na região de baixo curso, que por sua vez torna-se perene, onde sofre influência marítima. Estão inseridos também os rios: Rio Tinto, Estiva, Açú e Miriri (Figura 06).

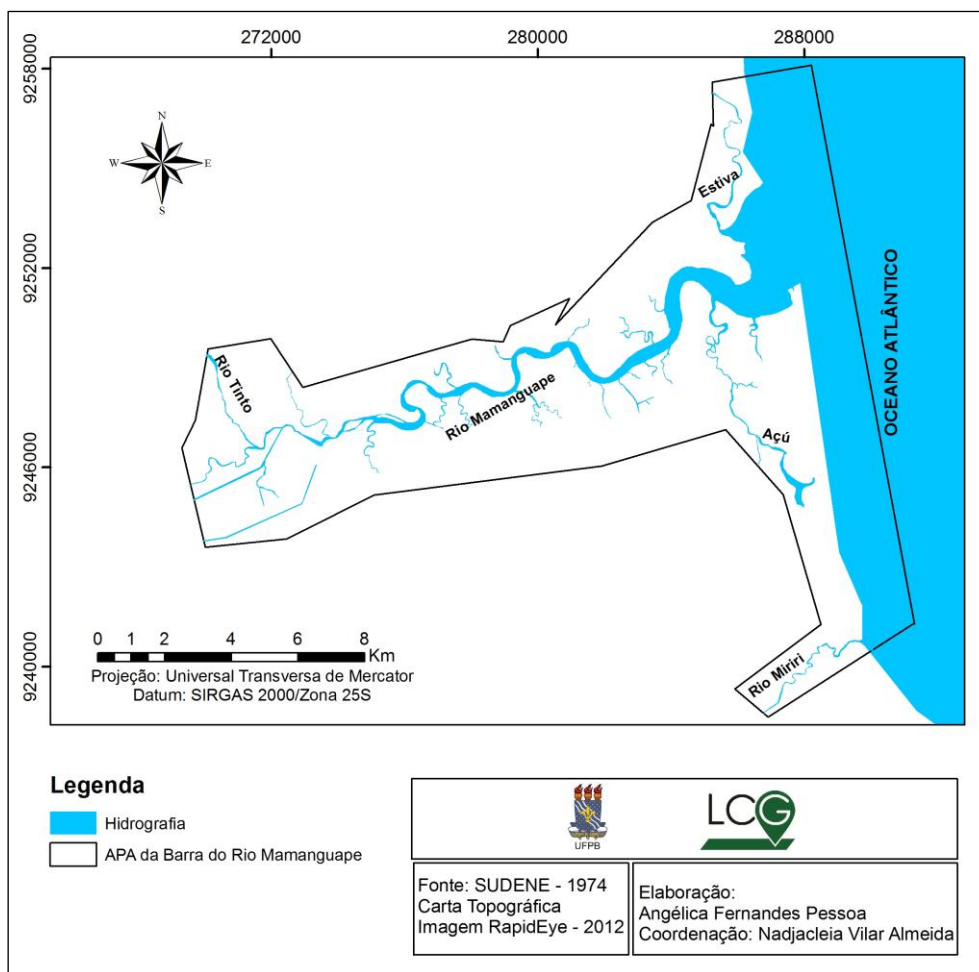


Figura 06. Hidrografia da Área de Proteção Ambiental da Barra do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil

Com relação à cobertura vegetal, verifica-se a existência de um fragmento representativo de mangue, com uma área de aproximadamente 6.000 ha, situado às margens do Rio Mamanguape, nas proximidades de sua foz (Figura 07). NA APA da Barra do Rio Mamanguape, ocorrem também fragmentos de Mata Atlântica (ICMBio, 2014).



Figura 07. (A, B, C, D) Áreas de manguezal da Área de Proteção Ambiental da Barra do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil.
Foto: Hugo Yuri – Data: 23-10-2013

Ainda se encontra a vegetação de dunas, formada por plantas herbáceas com alta resistência à salinidade; a vegetação de restinga, caracterizada pela presença de algumas espécies de cactáceas; e também a vegetação de tabuleiro, que se caracteriza por apresentar um manto herbáceo onde predominam as gramíneas, e um estrato arbustivo de indivíduos esparsos, não raro de porte baixo e tortuoso (MEDEIROS, 2012).

4.2 Procedimentos Técnicos

Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizadas cartas topográficas do ano de 1974 da Barra do Rio Mamanguape (Folha: SB-25-Y-A-VI-3-NO), Rio Tinto (SB-25-Y-A-VI-4NE), Baía da Traição (SB-25-Y-A-VI-1-SO) e Rio Soé (SB-25-Y-A-VI-3-SO) elaboradas pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) na escala de 1:25.000. As cartas topográficas foram vetorizadas, onde criou-se shapes para cada uso da cobertura da terra.

Foram utilizadas imagens dos satélites RapidEye e Landsat 5 e 7, na órbita/ponto 214/65, cujas características se encontram no Quadro 1.

Quadro 01. Características das Imagens Utilizadas

Data da imagem	Satélite	Sensor	Resolução Espacial	Bandas	Intervalo do comprimento de onda
05/02/1985	Landsat 5	TM	30 m	B3 (vermelho)	0,63 – 0,69 μm
				B4(infravermelho próximo)	0,76 – 0,90 μm
04/08/2001	Landsat7	ETM	30 m	B3 (vermelho)	0,63 – 0,69 μm
				B4(infravermelho próximo)	0,76 – 0,90 μm
25/10/2012	RapidEye	Multispectral (<i>pushbroom imager</i>)	5 m	B3(vermelho)	630 – 685 μm
				B5 (infravermelho próximo)	760 – 850 μm
31/12/2012	RapidEye	Multispectral (<i>pushbroom imager</i>)	5 m	B3(vermelho)	630 – 685 μm
				B5 (infravermelho próximo)	760 – 850 μm
20/10/2013	RapidEye	Multispectral (<i>pushbroom imager</i>)	5 m	B3(vermelho)	630 – 685 μm
				B5 (infravermelho próximo)	760 – 850 μm

As imagens de Satélites RapidEye e Landsat 5 foram adquiridas no GeoCatálogo¹ do Ministério do Meio Ambiente e Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE²), respectivamente. E a imagem do Landsat 7, foi adquirida no Earth Science Data Interface.³ A escolha das imagens seguiu dois critérios: 1) as imagens deveriam corresponder a datas anterior e posterior a criação da unidade de conservação; e 2) as imagens deveriam apresentar ausência ou baixo percentual de cobertura de nuvens ($\leq 10\%$).

Os procedimentos desenvolvidos foram divididos nas seguintes etapas:

- 1) Pré-processamento, processamento e pós-processamento das imagens;
- 2) Elaboração de mapas temáticos com base nas imagens de satélites para identificar os usos da terra e a cobertura vegetal existente na época em que as imagens foram obtidas;
- 3) Análise comparativa dos mapas temáticos

4.3 Pré-processamento, processamento e pós-processamento das imagens

O pré-processamento consiste no tratamento preliminar dos dados brutos (FLORENZANO, 2011, p. 71). Inicialmente as imagens foram empilhadas e registradas

¹ <http://geocatalogo.mma.gov.br/index.jsp>

² <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>

³ <http://earthexplorer.usgs.gov/>

(georreferenciamento). O registro das imagens Landsat foi realizado com base em uma imagem registrada, adquirida no Earth Science Data Interface⁴. Para as imagens RapidEye não foi necessário o registro, pois as mesmas já são ortorretificadas. Posteriormente, foi realizado o recorte para a área de estudo.

Para analisar o entorno, foi definido uma área de 1000 m, através da ferramenta *Buffer*, onde criou-se um novo polígono ao redor do limite da APA. Este *buffer* de 1000 m foi definido levando em consideração a área que tem influência direta com os limites da APA, visando uma melhor visualização da dinâmica espacial ocorrida no local, em virtude que as transformações que ocorrem no entorno acabam influenciando diretamente no seu interior.

4.4 Calibração Radiométrica em imagens Landsat

A calibração radiométrica consiste no processo de conversão do Número Digital – ND de cada pixel da imagem, em Radiância espectral monocromática e Reflectância aparente. A radiância por sua vez, é medida pelo sensor e estima a intensidade de luz solar emitida pelo solo da Terra (COSTA & RAMOS, 2013).

Para o cálculo da Radiância utilizou-se a equação proposta por Markhan & Baker (1987 *apud* MORAIS *et al.*, 2011):

$$L\lambda_i = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} \times ND \quad \text{Fórmula 2}$$

Onde:

a_i e b_i : correspondem as radiâncias espectrais mínima e máxima, respectivamente

ND: é a intensidade do pixel (número inteiro de 0 a 255)

i: corresponde às bandas 1,2,...,7, do Landsat 5 e 7

Segundo Luiz *et al.*, (2003), quando se pretende comparar imagens obtidas por diferentes sensores ou em variadas datas ou épocas do ano, é necessário a obtenção dos valores de reflectância dos alvos presentes em uma cena. Dessa forma, a partir da Radiância espectral, calcula-se a reflectância aparente, por meio da equação proposta por Allen *et al.*, (2002 *apud* MORAIS *et al.*, 2011):

⁴ <http://earthexplorer.usgs.gov/>

$$p\lambda i = \frac{\pi.L\lambda i}{K\lambda i.\cos Z.dr} \quad \text{Fórmula 3}$$

Onde:

$L\lambda$: radiância espectral

K : irradiância espectral solar de cada banda no topo da atmosfera

Z : ângulo zenital solar

dr : distância relativa Terra-Sol

4.5 Calibração Radiométrica das imagens RapidEye

Para a conversão do número digital (ND) para radiância foi utilizada a equação (BLACKBRIDGE, 2015):

$$RAD(i) = DN(i) * radiometricScaleFactor(i) \quad \text{Fórmula 4}$$

Onde: $radiometricScaleFactor(i) = 0.01$

A partir dos valores de radiância, foi calculada a reflectância:

$$REF(i) = RAD(i) \frac{\pi * sunDist^2}{EAI(i) * \cos(SolarZenith)} \quad \text{Fórmula 5}$$

Onde:

i : Número de bandas espectrais

REF : valor de reflectância

RAD : valor de radiância

$SunDist$: Distância entre a Terra e o Sol no dia da aquisição da imagem em unidades astronômicas

EAI : Irradiância solar na exoatmosfera

$SolarZenith$: Ângulo zenital solar (90° - elevação solar)

4.6 Cálculo do NDVI

Após a conversão dos valores brutos das imagens de satélites em valores físicos, procedeu-se com o cálculo do NDVI. Este por sua vez, é um indicador sensível da quantidade e das condições da vegetação (NETO *et al.*, 2008). O NDVI é obtido por meio da equação:

$$\text{NDVI} = \text{IVP} + \text{V} / \text{IVP} - \text{V}$$

Fórmula 6

Onde:

NDVI: Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

NIR: reflectância espectral da banda do sensor na faixa do infravermelho próximo e

R: reflectância espectral da banda do sensor na faixa do vermelho.

Com o intuito de facilitar a interpretação dos índices gerados para cada um dos anos selecionados, procedeu-se com o seu agrupamento em classes. Vários testes foram realizados com o objetivo de chegar à amplitude das classes que melhor representasse a realidade da cobertura vegetal e do uso da terra nos dois anos analisados.

Dessa forma, foram definidas 5 classes de acordo com os intervalos do NDVI, Água, Solo Exposto (área urbana e solo desnudo), Vegetação Rala, Vegetação de Transição e Vegetação Densa. Vale ressaltar que devido ao fato de ter sido utilizado sensores diferentes, os intervalos das classes tiveram que ser diferenciados (Tabela 01 e 02).

Tabela 01. Intervalos das classes utilizadas para geração dos mapas de cobertura da terra em imagens Landsat.

CLASSES	INTERVALOS NDVI EM IMAGENS LANDSAT		
	DE	ATÉ	DESCRIÇÃO
1	-0,72	0.075	Água
2	0.075	0.4	Solo Exposto
3	0.4	0.55	Vegetação Rala
4	0.55	0.65	Vegetação de Transição
5	0.65	0.88	Vegetação Densa

Tabela 02. Intervalos das classes utilizadas para a geração dos mapas de cobertura da terra em imagens RapidEye.

CLASSES	INTERVALOS NDVI EM IMAGENS RAPIDEYE		
	DE	ATÉ	DESCRIÇÃO
1	-0,43	0.08	Água
2	0.08	0.16	Solo Exposto
3	0.16	0.3	Vegetação Rala
4	0.3	0.49	Vegetação de Transição
5	0.49	0.78	Vegetação Densa

Com base na metodologia de SILVA *et al.*, (2013), os mapas temáticos de 1985, 2001 e 2012/2013 resultantes da classificação foram convertidos do formato raster para vetor, posteriormente, foi realizado o cruzamento das camadas vetoriais, mantendo as informações de ambas no arquivo resultante da operação. Este procedimento foi realizado para analisar o quanto de vegetação foi preservado/conservado e o quanto foi perdido ao longo do período de estudo.

A partir do resultado criou-se um novo campo na tabela de atributos do arquivo vetorial resultante do cruzamento, no qual foi denominado SIT (Situação).

Dessa forma, as áreas de vegetação que se mantiveram foram classificadas como PRESERVADO/CONSERVADO; as áreas que foram substituídas por solo exposto e as áreas que diminuíram a densidade da cobertura vegetal foram classificadas como PERDA DE VEGETAÇÃO; para áreas nas quais houve um aumento da densidade de vegetação foram classificadas como REGENERADO/REGENERAÇÃO; e onde era água e o mesmo permaneceu, foram classificados como ÁGUA.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Mapeamento de 1974, 2001 e 2012/2013

Com a digitalização das cartas topográficas obteve-se a espacialização dos diferentes usos e cobertura da terra para o ano de 1974 (Figura 08). Na paisagem, percebe-se uma maior representatividade da classe cobertura vegetal, composta por vegetação de mangue, no interior da APA, e por fragmentos de Mata Atlântica e cerrado (tabuleiro), no entorno. Essas áreas correspondem a 66,30km² da Cobertura Vegetal na APA e 38,47km² no entorno. O restante da cobertura existente em 1974 era caracterizada por *pomar vinhedo* (provavelmente cana de açúcar), solo exposto, zona urbana e já existia atividades de carcinocultura na região.

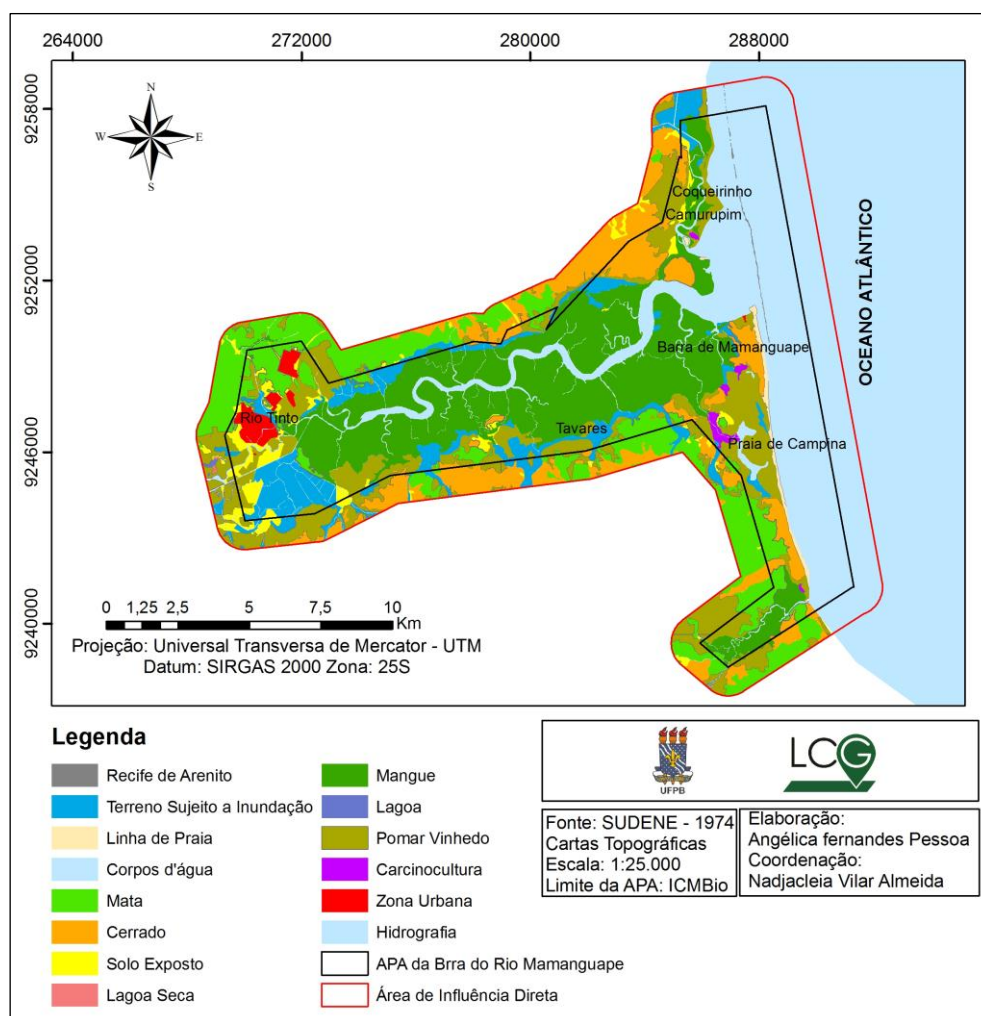


Figura 08. Uso e Cobertura da terra no ano de 1974, na APA da Barra do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil.

Fonte: Adaptado de Assis, (2015).

A análise dos mapas de cobertura da terra para os anos de 1985, 2001 e 2012/2013 demonstraram as alterações ocorridas ao longo dos anos a partir da análise do NDVI. Na

Figura 09 observa-se a espacialização da cobertura vegetal para o ano de 1985 para a área de estudo.

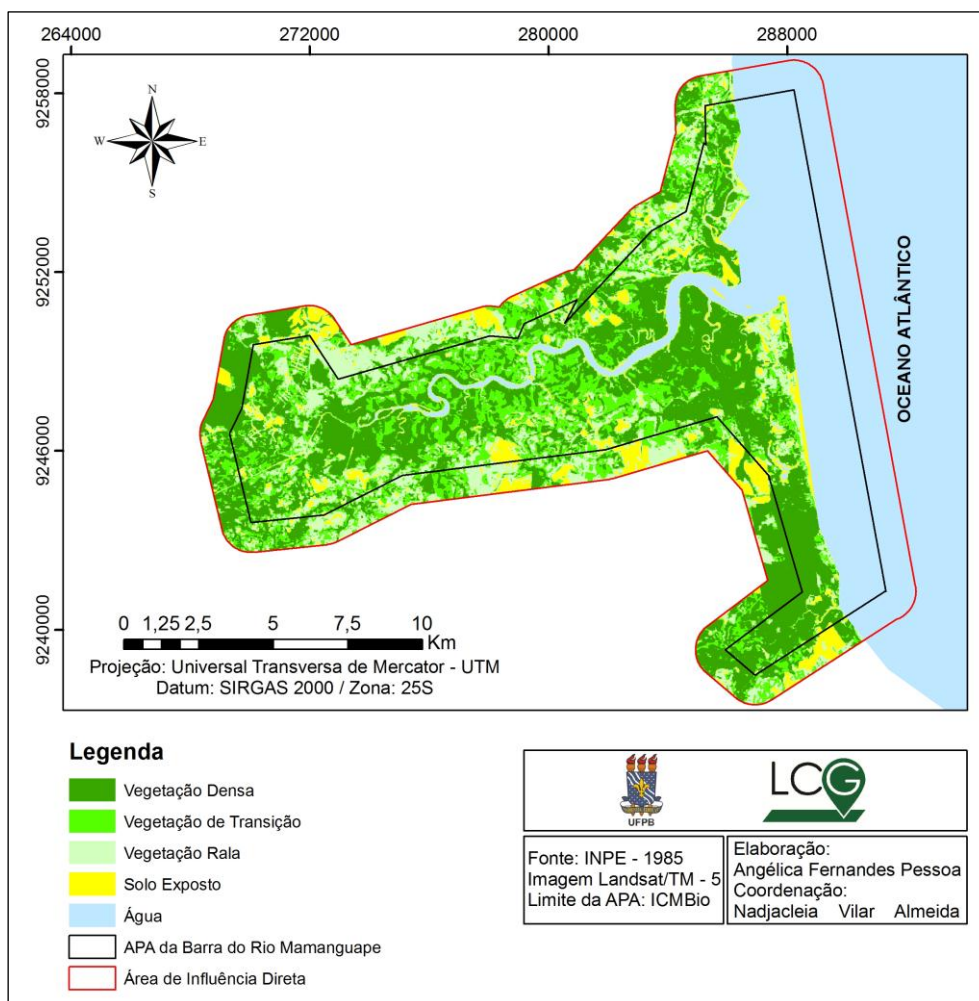


Figura 09. Cobertura da terra no ano de 1985 na APA da Barra do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil.

O mapeamento de 1985 (anterior à criação da APA) demonstra a predominância da classe de vegetação densa apresentando uma área de 53,26km² (35,70%) (Tabela 03), na APA e 21,69km² (26,27%) no entorno (Tabela 04). Nota-se também a distribuição de vegetação de transição em toda a área de estudo, com 19,30% da APA e 16,82% do entorno. Outra parte da cobertura existente é caracterizada por vegetação rala (13,57%), que por sua vez se encontra em predominância no entorno (21,25%).

Na Tabela 03 e 04 pode ser observada a quantificação das áreas para a APA e para o entorno respectivamente.

Tabela 02. Quantificação das classes da cobertura da terra na APA da Barra do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil.

CLASSES	APA					
	1985		2001		2012/2013	
	Área (Km ²)	(%)	Área (Km ²)	(%)	Área (Km ²)	(%)
Água	37,31	25,00	39,68	26,52	42,25	28,31
Solo Exposto	9,6	6,43	10,07	6,73	6,58	4,41
Vegetação Rala	20,25	13,57	17,59	11,76	16,8	11,26
Vegetação de Transição	28,8	19,30	29,66	19,83	28,39	19,02
Vegetação Densa	53,26	35,70	52,61	35,16	57,23	37,00
TOTAL	149,22	100	149,61	100	149,25	100

Tabela 03. Quantificação das classes da cobertura da terra no entorno da APA da Barra do Rio Mamanguape.

CLASSES	ENTORNO					
	1985		2001		2012/2013	
	Área (Km ²)	(%)	Área (Km ²)	(%)	Área (Km ²)	(%)
Água	21,55	26,10	21,85	26,46	23,03	27,87
Solo Exposto	7,89	9,56	5,59	6,78	9,03	10,93
Vegetação Rala	17,55	21,25	13,26	16,06	21,3	25,78
Vegetação de Transição	13,88	16,82	21,1	25,56	18,18	22,00
Vegetação Densa	21,69	26,27	20,76	25,14	11,08	13,41
TOTAL	82,56	100	82,56	100	82,62	100

O mapa de uso e cobertura de 1974 fornece um panorama histórico dos usos na região e, quando comparado com o mapa de 1985, demonstra o acelerado processo de supressão da cobertura vegetal e uso indiscriminados dos recursos naturais.

Comparando os resultados obtidos no mapeamento de 1974 e de 1985, percebe-se que houve redução da classe vegetação densa tanto na APA, quanto no entorno. Em 1974, manchas de vegetação densa correspondiam a de 66,3km² da APA, com manchas representativas e contínuas, e, em 1985 já se encontravam fragmentadas, ocupando 53,26km², apresentando uma redução de 19,69%.

No entorno, as áreas de vegetação foram reduzidas em 43,61%, onde em 1974, apresentavam área de 38,47km², passando a apresentar em 1985, área de 21,69km².

Observa-se, também, que as classes de solo exposto aumentaram, haja vista que, em 1974, apresentavam áreas de 3,70km², passando a apresentar 9,6km², correspondendo a um aumento de 159,45% na APA. No entorno, houve um acréscimo das áreas de solo exposto em 241,55%.

No mapeamento de 2001 (Figura 10) foi observada uma redução das áreas classificadas como vegetação rala, apresentando uma área de 17,59km² (11,76%) na APA e de 13,26km² (16,06%) no entorno e, consequente aumento de vegetação de transição tanto na APA (19,83%), quanto no entorno (25,56%). As áreas ocupadas por solo exposto tiveram um pequeno aumento na APA, apresentando uma área de 10,07km² (6,73%) e uma diminuição no entorno, onde a classe apresentou uma área de 5,59km² (6,78%). Foi observada, também, uma diminuição da classe vegetação densa apresentando uma área de 52,61km² (35,16%) na APA e de 20,76km² (25,14%) no entorno.

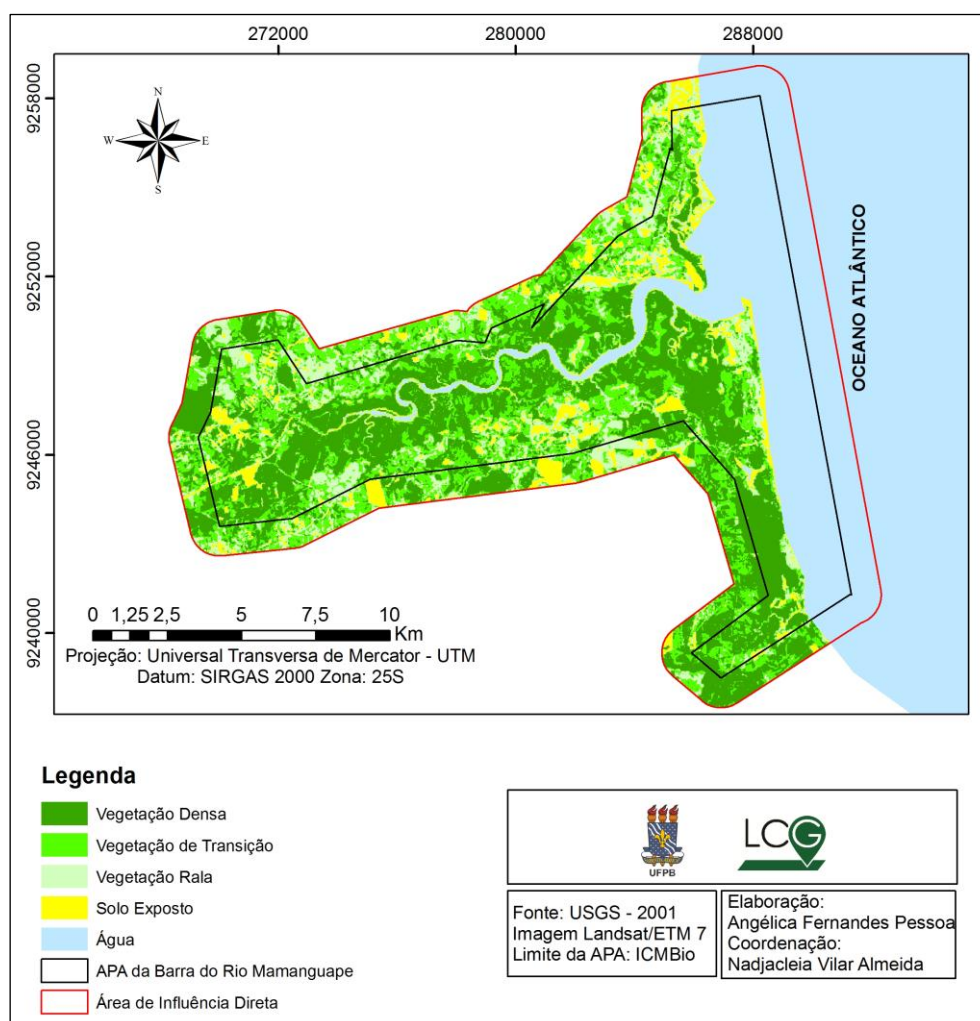


Figura 10. Cobertura da Terra no ano de 2001 na APA da Barra do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil.

Houve, também, aumento no percentual de cobertura referente à classe água, o que pode estar relacionado a uma maior intensidade pluviométrica, já que nos meses anteriores a captura da imagem (abril a julho), e no mês de captura da imagem (agosto), houve maior precipitação, como pode ser observado na Figura 11.

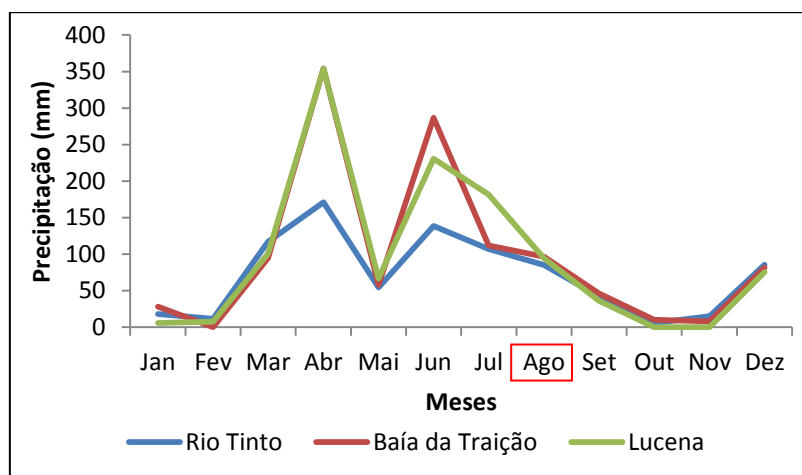


Figura 11. Chuvas acumuladas nos Municípios que compõe a APA da Barra do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil, no ano de 2001.

Fonte: AESA, 2016

Analisando o mapeamento de 2012/2013 (Figura 12) é possível perceber maior representatividade da classe vegetação densa na APA apresentando uma área de 55,23km² (37%). No entorno a classe de vegetação densa sofreu uma redução de 46,62%, quando comparado com o mapeamento de 2001, e as classes de solo exposto e de vegetação rala oscilaram, aumentando sua área em 61,53% e 60,63%, respectivamente. O fato de essas áreas terem aumentado, pode estar relacionado com o avanço do cultivo da cana-de-açúcar, supõe-se que na classe vegetação rala a cana estava em estágio de desenvolvimento inicial.

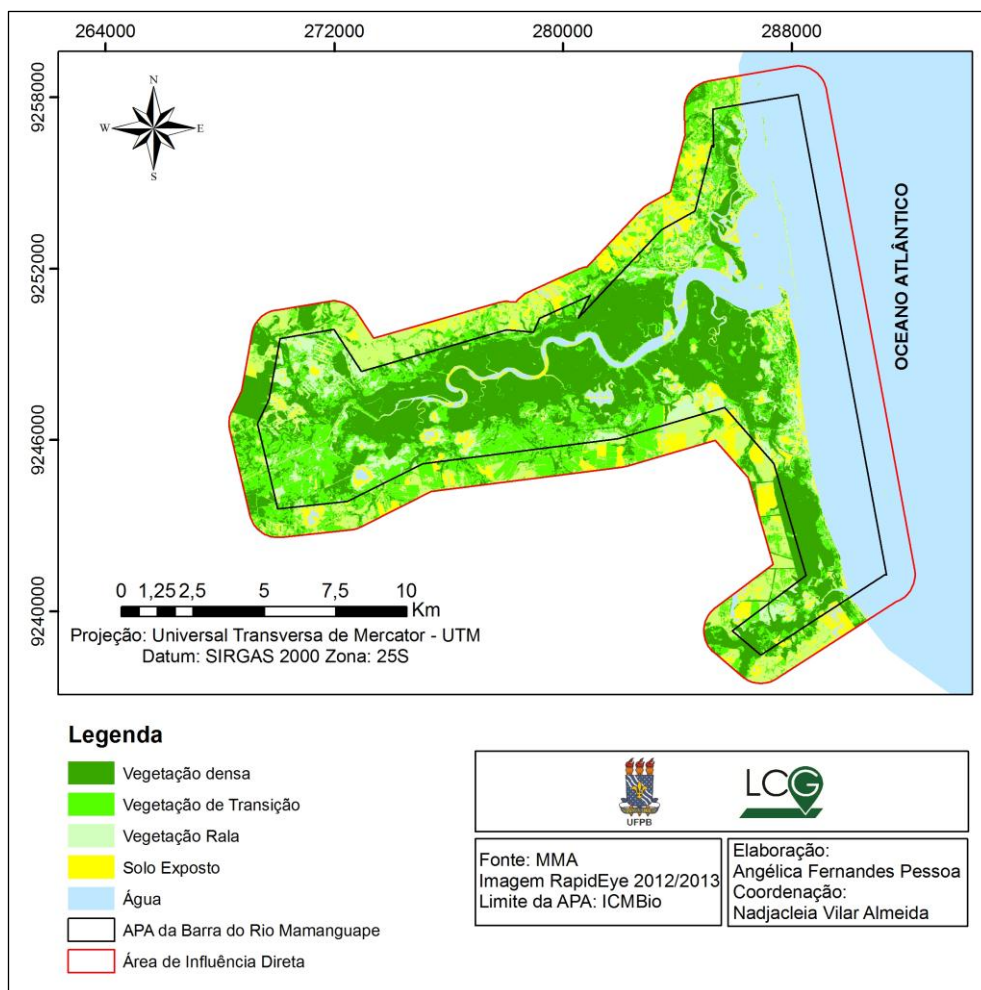


Figura 12. Cobertura da Terra no ano de 2012/2013 na APA da Barra do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil.

Os dados pluviométricos evidenciam que a estação chuvosa ocorreu entre os meses de março a agosto (Figura 13), em contrapartida o período de menor precipitação ocorreu de setembro a fevereiro. Devido ao fato da imagem ter sido registrada no mês de outubro, cuja precipitação ocorreu em menor quantidade, supõe-se que a precipitação não tenha influenciando totalmente no resultado do NDVI.

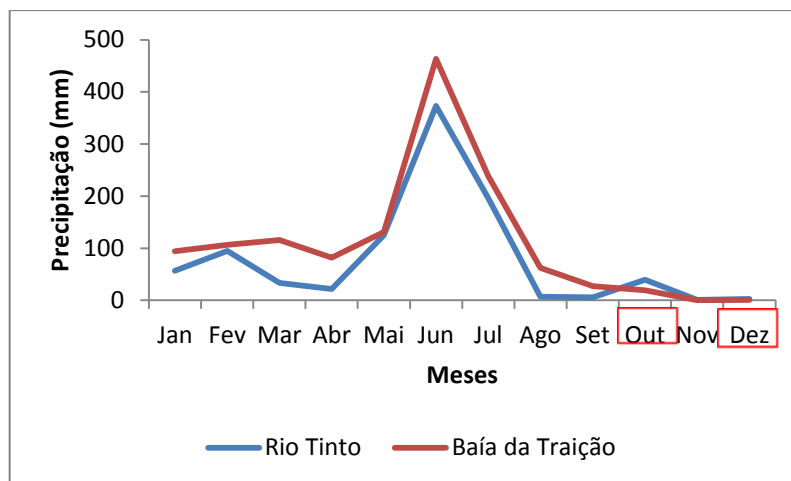


Figura 13. Chuvas acumuladas nos Municípios que compõe a Área de Proteção Ambiental do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil, no ano de 2012.
Fonte: AESA, 2016

Os resultados encontrados nesta pesquisa apontam que houve diminuição da classe de vegetação densa de 1974, para 2001, no entanto, quando se analisa a evolução temporal de 2001 para 2012/2013, a classe de cobertura vegetal densa oscilou, aumentando a sua área. Dessa forma, o NDVI foi útil para detectar as variações da vegetação e o aumento da classe de cobertura densa na APA da Barra do Rio Mamanguape, corrobora com os resultados de Júnior *et al.*, (2015), que em estudo na Área de Proteção Ambiental do Pratigi na Bahia, avaliou imagens NDVI para o monitoramento da dinâmica da cobertura vegetal entre os anos de 2000, 2001, 2003 e 2006. E como resultado, as imagens resultantes do NDVI foram sensíveis às mudanças da cobertura vegetal e evidenciaram que houve aumento da vegetação mais densa, assim como uma maior espacialização da mesma.

No entanto, quando se analisa o entorno a classe de vegetação foi reduzida de 21,69km² em 1985, passando a apresentar área de 11,08km² em 2012/2013.

5.2 Dinâmica da cobertura vegetal para o ano de 2001 e 2012/2013

Com o intuito de verificar a dinâmica espaço-temporal entre os anos analisados foram elaborados os mapas de dinâmica da cobertura vegetal para os anos de 2001 e 2012/2013. Analisando o mapa de dinâmica da cobertura vegetal de 1985-2001(Figura 14) verifica-se que houve perda da vegetação a oeste (cidade de Rio Tinto), a nordeste (comunidades de Coqueirinho e Tramataia), além de perdas no entorno da APA.

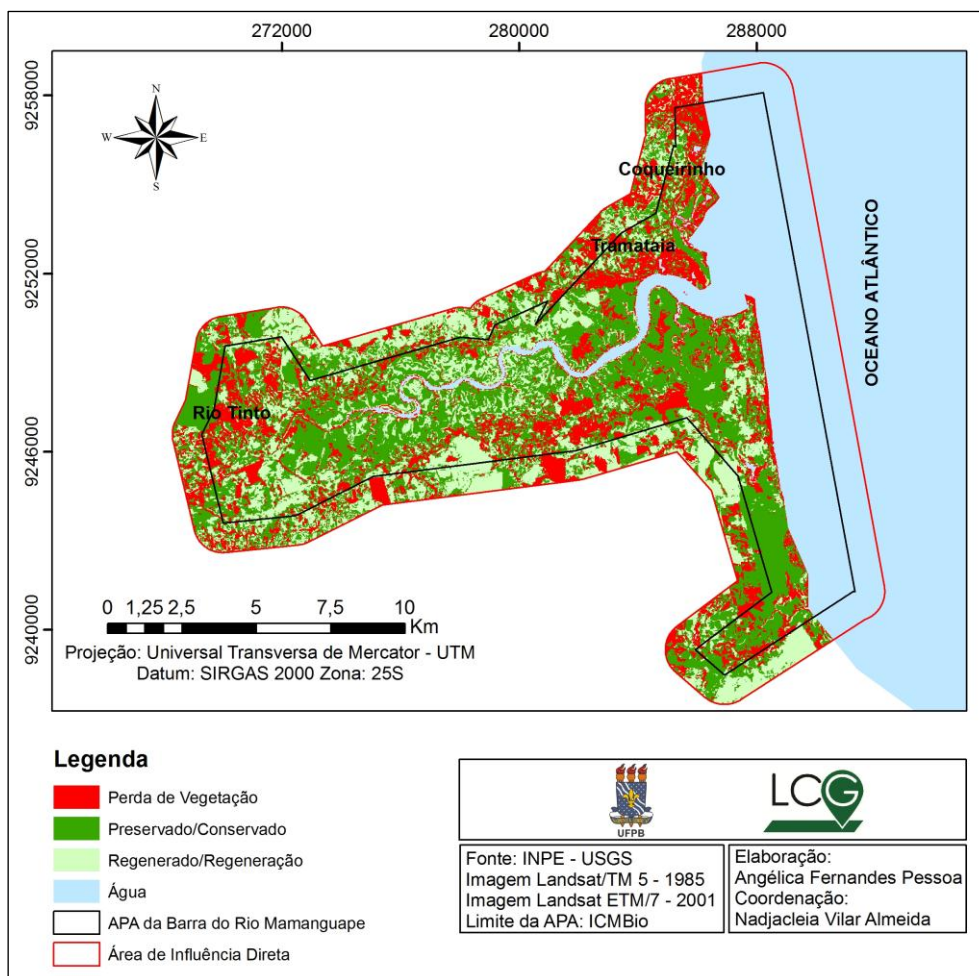


Figura 14. Dinâmica da Cobertura Vegetal para o ano de 1985-2001, na APA da Barra do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil

Verifica-se que as áreas com maior extensão, onde a vegetação foi classificada como regenerado ou em estado de regeneração se encontram no entorno da APA apresentando uma área de 23,17km² (28,21%). Porém, vale ressaltar que essas áreas regeneradas estão relacionadas com a fisiografia da estrutura da paisagem e não com a regeneração natural, uma vez que as áreas classificadas correspondem a plantio (cultivo), onde o mesmo estava alto no ano de 2001, fazendo com que as áreas do entorno fossem equivocadamente classificadas como regeneradas, devido à dinâmica (estádios de crescimento) do plantio.

Já as áreas mais representativas, classificadas como PRESERVADAS/CONSERVADAS estavam inseridas dentro do limite da Unidade de Conservação apresentando uma área de 56,09Km² (37,64%). Na Tabela 05 pode ser observado a quantificação das áreas para a área de estudo.

Tabela 05. Quantificação das áreas em Km² e em porcentagem da dinâmica da cobertura vegetal na APA da Barra do Rio Mamanguape e no entorno.

CLASSES	APA				ENTORNO			
	1985/2001		2001/2012/2013		1985/2001		2001/2012/2013	
	Área (Km ²)	(%)	Área (Km ²)	(%)	Área (Km ²)	(%)	Área (Km ²)	(%)
Perda de Vegetação	29,4	19,73	24,9	16,70	14,87	18,11	27,56	33,50
Preservado/Conservado	56,09	37,64	51,62	34,63	22,26	27,10	19,79	24,05
Regenerado/Regeneração	23,85	16,01	30,32	20,34	23,17	28,21	11,91	14,47
Água	39,67	26,62	42,24	28,33	21,83	26,58	23,02	27,98
TOTAL	149,01	100	149,08	100	82,13	100	82,28	100

Com o resultado do cruzamento dos mapas temáticos da dinâmica da cobertura vegetal de 1985-2001 e 2001-2012/2013 (Figura 15) observou-se que as áreas em que houve maior perda de vegetação foi no entorno com 85,34%, onde no mapa de dinâmica de cobertura vegetal de 1985-2001 apresentou área de 29,4km², passando a apresentar uma área de 27,56km² (33,50%) (Tabela 05).

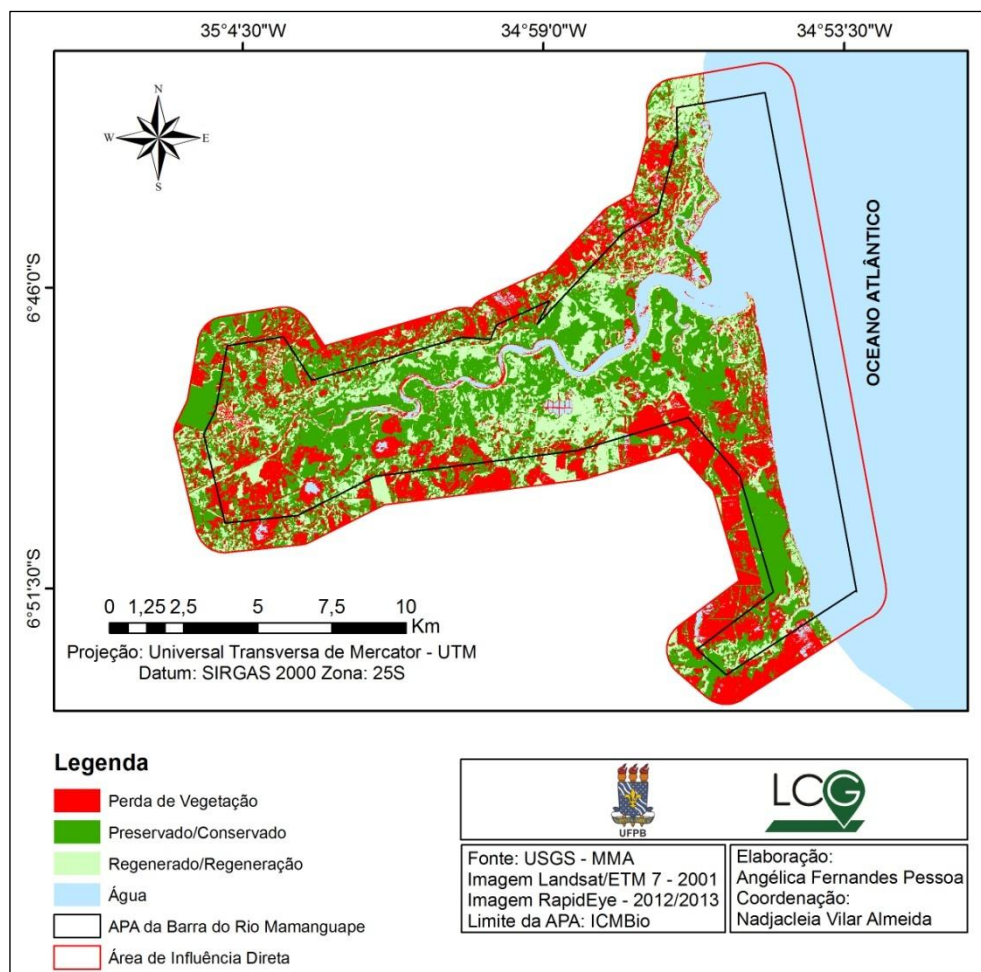


Figura 15. Dinâmica da Cobertura Vegetal de 2001-2012/2013, na APA da Barra do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil.

O cruzamento dos mapas temáticos de 2001-2012/2013 demonstrou a expansão das áreas classificadas como perda de vegetação, principalmente no entorno, demonstrando o avanço do cultivo sobre a UC.

Com embasamento nos trabalhos de campo as mudanças identificadas na APA da Barra do Rio Mamanguape e no entorno podem ser atribuídas à expansão de atividades canavieiras (Figuras 16. A e B) e ao cultivo (Figuras 16. C e D).



Figura 16. (A) Canavial na APA, (B) Canavial no entorno da APA, (C) Plantação de Bananas na APA, (D) Plantação de Macaxeira na APA da Barra de Mamanguape, Paraíba, Brasil.

Foto: Marcelo Melo – Data: 18-08-2015

A figura 17 mostra uma área na APA em que houve desmatamento para o cultivo.



Figura 17. Desmatamento para cultivo na APA da Barra do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil.

Foto: Marcelo Melo – Data: 18-08-2015

Foi identificada uma área na comunidade Tanques, onde apresentava mortandade de mangue (Figura 18 A), esta área por sua vez, se encontra dentro da Unidade de Conservação. Próxima a essa área degradada, a paisagem se encontrou bastante alterada, onde os rios se encontravam assoreados devido à retirada da mata ciliar, além de apresentar áreas de policultura (Figura 18 B).



Figura 18. (A) Área de manguezal com fortes indícios de degradação, (B) Rio sem mata ciliar e área de policultura na APA. Foto: Hugo Yuri – Data: 20/04/2015

As causas da mortandade do mangue podem estar relacionadas com a retirada da mata ciliar. Com a retirada da cobertura vegetal os rios ficam susceptíveis ao assoreamento, que por sua vez irá refletir na sua vazão. Com a diminuição da vazão do rio a quantidade de água doce que chega aos estuários diminui em virtude do acúmulo de sedimentos provenientes do assoreamento.

Outro fator que pode ter contribuído com a mortandade do mangue, é a entrada de agrotóxicos no estuário, devido a UC está circundada de cana-de-açúcar. Os agrotóxicos são lixiviados através do solo e resulta na contaminação por substâncias químicas.

Comparando o mapa de dinâmica da cobertura vegetal de 1985-2001 e 2001-2012/2013, observou-se que houve uma redução significativa de vegetação no entorno refletida no aumento da classe ‘perda da vegetação’ onde no mapa da dinâmica da cobertura vegetal de 1985-2001 apresentavam área de 14,87km² (18,11%) passando a apresentar uma área de 27,56km² (33,50%) no mapa de 20010-2012/2013. Observou-se também que nas áreas classificadas como preservadas houve uma diminuição de 10,54%, onde ocupavam no mapa de situação de 2001 56,9km² da APA e 22,26km² do entorno, passaram a ocupar no mapa de situação de 2012/2013 51,62km² da APA e 19,79km² do entorno.

No que se refere à metodologia, vale ressaltar que, o método NDVI por si só, não pode ser o único fator determinístico e muito menos o único parâmetro a ser utilizado para estudar as alterações ocorridas em áreas de cobertura vegetal, conforme esclarece Silva (2001 *apud* Lobato, 2010). O NDVI pode ser utilizado como parâmetro indicador de tais mudanças, porém, devem ser feitos estudos mais detalhados levando em consideração, trabalhos de campo, bem como imagens de satélites de alta resolução espacial (LOBATO, 2010).

Com relação à cobertura vegetal da área de estudo, foram observadas as espécies (Figura 19 – A e B): *Laguncularia racemosa* (mangue-Branco) e *Rhizophora mangle* (mangue-Vermelho) (Figura 19 - B), além de vegetação de restinga (Figura 19 – C) e vegetação herbácea arbustiva (Figura 19 – D), no entanto, vale salientar que existem outras espécies de flora.



Figura 19. (A) *Laguncularia racemosa*, (B) *Rhizophora Mangle*, (C) Vegetação de restinga, (D) Vegetação herbácea arbustiva na APA da Barra do Rio Mamanguape, Paraíba, Brasil.

Foto: Marcelo Melo – Data: 18-08-2015

5 CONCLUSÃO

O índice de Vegetação utilizado, NDVI, serviu para avaliar a perda da cobertura vegetal tanto na APA da Barra do Rio Mamanguape quanto em seu entorno. Dessa forma com essa análise foi possível conhecer as classes de cobertura da terra que compõem a área de estudo.

A análise dos resultados obtidos na pesquisa demonstraram a dinâmica da cobertura vegetal nos anos estudados. Com relação à cobertura da terra em 1974, conclui-se que muitas áreas que eram representadas por Vegetação nativa, ao longo dos anos, foi dando lugar ao cultivo, com destaque a cana-de-açúcar, que circunda toda a APA da Barra do Rio Mamanguape.

O fato das áreas classificadas como vegetação rala e solo exposto ter diminuído de 1985 para 2001, não significou que houve uma mudança positiva, pois os mesmos representavam cultivo, dessa forma, não houve regeneração das áreas, e sim uma mudança nos estádios de desenvolvimento das plantas cultivadas.

O mapeamento de 2012/2013 mostrou-se eficaz, devido à qualidade visual das imagens e a resolução espacial do sensor, o que permitiu uma melhor caracterização das classes estudadas. As análises mostraram que houve redução da classe de vegetação densa tanto na APA, como no entorno. E o entorno foi a que mais sofreu impactos negativos, onde a vegetação densa foi reduzida ao longo dos anos devido à expansão do cultivo da cana-de-açúcar.

As interferências antrópicas no entorno se expandiram ao longo dos anos, sobretudo, pelo aumento das atividades canavieiras que causaram repercussões negativas na APA. Dessa forma, mesmo com a criação da Unidade de Conservação, em algumas áreas não houve a preservação dos remanescentes florestais, pois áreas que eram caracterizados com vegetação nativa passaram a dar lugar ao cultivo, provocando assim impactos negativos, como alterações dos habitats naturais, redução da diversidade biológica, e impactos a espécies de fauna e flora.

Ressalta-se que os resultados desta pesquisa, além de fornecerem uma base de dados para o monitoramento da APA, podem, ainda, servir de suporte para os tomadores de decisões, principalmente no que diz respeito ao planejamento e a gestão da Unidade de Conservação, visando assim a sua proteção.

REFERÊNCIAS

AESA - Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em: <<http://www.aesa.pb.gov.br/>> Acesso em: 30 Mar. 2016.

ALBUQUERQUE, E. M. de.; ANDRADE, S. C. de P.; MORAIS, H. F.; DINIZ, J. M. T.; SANTOS, C. A. C. dos. **Análise do Comportamento do NDVI e NDWI sob diferentes intensidades pluviométricas no Município de Souza-PB.** Revista Estudos Geoambientais. V. 01.

ASSIS, H. Y. E. G. de.; ALMEIDA, N. V.; SANTOS, A. A. dos. **Mapeamento das unidades de paisagem da Área de Proteção Ambiental da Barra do rio Mamanguape PB.** In: XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia V Congresso Brasileiro de Geoprocessamento XXV Exposicarta, 2014, Gramado. Mapas conectando o Brasil e a América do Sul, 2014.

BATISTA, G. M. M.; MUNHOZ, C. B. R. **Comportamento do sequestro florestal de carbono, do conteúdo de CO₂ atmosférico e do conteúdo de umidade da vegetação no Pantanal de Nhecolândia, MS, por meio de sensoriamento remoto hiperespectral.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais XIV, Natal, Brasil, 25-30 abr. 2009, p. 1071 – 1078.

BRASIL. Decreto nº 924, de 10 de setembro de 1993. **Cria a Área de Proteção Ambiental da Barra do Rio Mamanguape, no Estado da Paraíba e dá outras providências.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF. 1993.

COSTA, P. F.; RAMOS, J. A. S. **Avaliação da necessidade de correção radiométrica para comparação de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).** In.: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais XVI, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13-18 abr. 2013, INPE.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto.** São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

GOMES, A. R.; MALDONADO, F. D. (1998). **Análise de Componentes Principais em Imagens Multitemporais TM/Landsat como Subsídio aos Estudos de Vulnerabilidade à Perda de Solo em Ambiente Semi-Árido.** In.: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais IX, Santos, Brasil, 11-18 set. 1998, INPE, p. 959 – 967.

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Brasília, 2014. **Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental do Rio Mamanguape e Área de Relevante Interesse Ecológico de Manguezais da Foz do Rio Mamanguape.**

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Catálogo de Imagens.** Disponível em: <<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>>. Acesso em: 24 fev. 2016.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** Tradução: José Carlos Neves Epiphanyo (coord.) et al. São José dos Campos: Parêntese, 2009. p.357-410.

JÚNIOR, J. L. dos. S.; PONZONI, F. J.; CHAVES, J.M. **Utilização de dados provenientes do Modelo Linear de Mistura Espectral e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada em imagens TM/Landsat e ETM+/Landsat 7 para a verificação de alterações da cobertura vegetal na APA do Pratigi-BA.** In.: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Anais XVII, João Pessoa-PB, Brasil, 25-29 abr. 2015, INPE, p. 2171 – 2177.

LOBATO, R.; MENEZES, J.; LIMA, L. A. de.; SAPIENZA, J. A. **Índice de Vegetação por Diferença Normalizada para análise da redução da Mata Atlântica na região costeira do Distrito de Tamoios-Cabo Frio/RJ.** Caderno de Estudos Geoambientais – CADEGEO. Agosto, 2010.

LUIZ, A. J. B.; GURTNER, S.; GLERIANE, J. M.; EPIPHANIO, J. C. N.; CAMPOS, R. C. **Reflectância a partir do número digital de imagens ETM+.** In.: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais XI, Belo Horizonte, Brasil, 05-10 abr. 2003, INPE, p. 2071 – 2078.

MARCUSSI, A. B.; BUENO, C. R. P.; MIQUELONI, D. P.; ARRAES, C. L. **Utilização de Índices de Vegetação para os Sistemas de Informações Geográficas.** Revista Caminhos de Geografia, v.11, n. 35, p. 41-53, Set. 2010. ISSN 1678-6343.

MEDEIROS, S. C. O. de. **Caracterização das dunas da Área de Proteção Ambiental da Barra do Rio Mamanguape,** monografia apresentada ao Curso de Bacharelado em Ecologia, da Universidade Federal da Paraíba, Campus IV. CDU – 551.4(043.2); 2012.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Geocatálogo MMA.** <Disponível em: <<http://geocatalogo.mma.gov.br/index.jsp>>. Acesso em 06 ago. 2015.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Unidades de Conservação: Patrimônio do povo brasileiro - Esperança do futuro para a humanidade.** Julho de 2007.

MORAIS, Y. C. B.; SANTOS, B. O. dos.; LAURENTINO, M. L. S.; SILVA, J. C. B. da.; GALVÍNIO, J. D. **Análise espaço-temporal e detecção de mudanças da cobertura vegetal no município de Floresta/PE – Brasil, utilizando o NDVI.** In.: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Anais XV, Curitiba-PR, Brasil, 30 abril a 05 maio. 2011, INPE, p. 2128 – 2134.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação.** 3ª edição. 2005. Editora UFV. 320p.

MOREIRA, M. A.; Shimabukuro, Y. E. Cálculo do índice de vegetação a partir do sensor AVHRR. In: **Aplicações ambientais brasileiras dos satélites NOAA e TIROS-N.** São Paulo, Oficina De Textos, 2004, cap.4:79-101.

NETO, R. T. de. B.; FILHO, M. B. B. B.; LOPES, H. L.; PACHECO, A. da. P. (2008). **Determinação de valores físicos de imagens Tm/Landsat-5 utilizando a linguagem legal para obter índices de vegetação.** In.: II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife – PE.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações.** São Paulo: Blucher, 2010.

OLIVEIRA, J. C. C. **Zoneamento Ambiental da APA da Barra do Rio Mamanguape e de seu entorno, Estado da Paraíba, Brasil.** Dissertação (Mestrado em Gerenciamento Ambiental) – Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2003.

OLIVEIRA, L. C. B. **Dinâmica Temporal do NDVI de remanescente das fitofisionomias da Mata Atlântica, bacia do rio dos sinos, RS.** Dissertação (Mestrado) – Porto Alegre: IGEO/UFRGS, 2013.

PONZONI, F. J. **Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação: Diagnosticando a Mata Atlântica.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos, 2002. Disponível em: <http://ecologia.ib.usp.br/lepac/bie5759/CAP8_FJPonzoni.pdf> Acesso em 07 Jul. 2014.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação: Oficina de Textos,** 2012.

RAMOS, R. R. D.; LOPES, H. L.; JÚNIOR, J. C. F. de. M.; CANDEIAS, A. L. B.; FILHO, J. A. de. S. **Aplicação do índice da vegetação por diferença normalizada (NDVI) na avaliação de áreas degradadas e potenciais para Unidades de Conservação.** In.: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife-PE, 27-30 de Julho de 2010, p. 001 – 006.

ROSEMBACK, R.; FRANÇA, A. M. S.; FLORENZANO, T. G. **Análise comparativa dos dados NDVI obtidos de imagens CCD/CBERS-2 e TM/LANDSAT-5 em área urbana.** In.: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Anais XII, Goiânia, Brasil, 16-21 abr. 2005, INPE, p.1075-1082.

Satellite Imagery Product Specifications. Abril, 2015. Disponível em: <www.blackbridge.com> Acesso em: 16 Fev. 2016.

SILVA, G. J. F.; ALMEIDA, N. V.; GOMES, L. C.F.; SANTOS, O. K. A. **Degradação Ambiental na Microrregião do Cariri paraibano.** Revista Brasileira de Geografia Física, v.6, n. 4 (2013) 823-837.

USGS - Science for a changing world. Disponível em: <<http://earthexplorer.usgs.gov/>> Acesso em: 06 Agos. 2015.

Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC, lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000; decreto nº 4.340, de 22 de agosto de 2002. 5.ed. Brasília: MMA/SBF, 2004. 56p.

SOMAR Meteorologia; **TEMPO AGORA Portal R7 Notícias.** Disponível em: <<http://www.tempoagora.com.br/previsao-do-tempo/brasil/climatologia/RioTintoPB/>>. Acesso em 20 de Jul. 2015.

SUDENE - **Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste.** Carta topográfica na escala 1:25.000: folha Rio Tinto (SB.25-Y-A-VI-4-NE). 1ª ed. 1974.

SUDENE - **Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste.** Carta topográfica na escala 1:25.000: folha Rio Soé (SB.25-Y-A-VI-3-SO). 1ª ed. 1974.

SUDENE - **Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste.** Carta topográfica na escala 1:25.000: folha Barra de Mamanguape (SB.25-Y-A-VI-3-NO). 1ª ed. 1974.

SUDENE - **Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste.** Carta topográfica na escala 1:25.000: folha Baía da Traição (SB.25-Y-A-VI-1-SO). 1ª ed. 1974.

WWF - Brasil. **Unidades de Conservação: conservando a vida, os bens e os serviços ambientais.** São Paulo, 2008.